บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

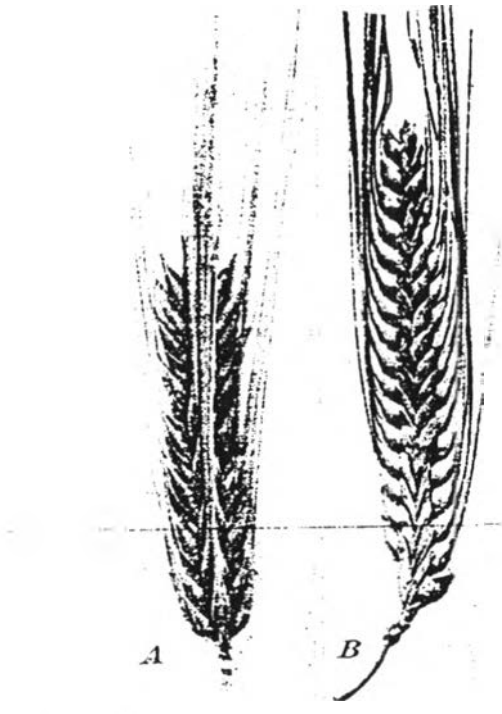
ข้าวบาร์เลย์ (Barley) ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hordeum vulgare* Linn. ตระกูล Gramineae ข้าวบาร์เลย์มีถิ่นกำเนิดในตะวันตกเฉียงเหนือของอินเดียและโมรอคโค นอกจากนั้นยังเป็นพืชที่มีผู้นำไปปลูกในหลายภูมิภาค เช่น ยุโรป เอเชียตะวันตก ทวีปอเมริกาเหนือ โดยฤดูหนาวจะปลูกที่ตอนใต้ของประเทศอเมริกา ฤดูใบไม้ผลิจะปลูกในแคนาดาที่รัฐดาโกต้าทางตอนเหนือ รัฐไอดาโฮ มอนทาน่า และวอชิงตัน สำหรับประเทศไทยมีการปลูกข้าวบาร์เลย์ที่ภาคเหนือซึ่งมีสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะสมโดยบริษัทบุญรอดบริวเวอร์รี่ ภายใต้ชื่อว่า บริษัทเชียงใหม่มอลติ้ง จำกัด ตั้งอยู่ที่ ต.แม่กรณ์ อ.เมือง จ.เชียงราย สามารถผลิตข้าวบาร์เลย์ได้ปีละ 4,000 ตัน ซึ่งฝ่ายค้นคว้าและวิจัยของบริษัทได้คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ ได้พันธุ์ชนิดสองแถว อายุการเก็บเกี่ยวสั้น (60-80 วัน) ทำให้ลดการนำเข้าข้าวบาร์เลย์และลดต้นทุนในการผลิตช่วยประหยัดเงินตราต่างประเทศได้ถึงปีละประมาณ 200 ล้านบาท (ศิริรัตน์ สาโพธิ์สิงห์, 2540)

พันธุ์ข้าวบาร์เลย์ (Briggs,1978; Reid และ Wiebe, 1979)

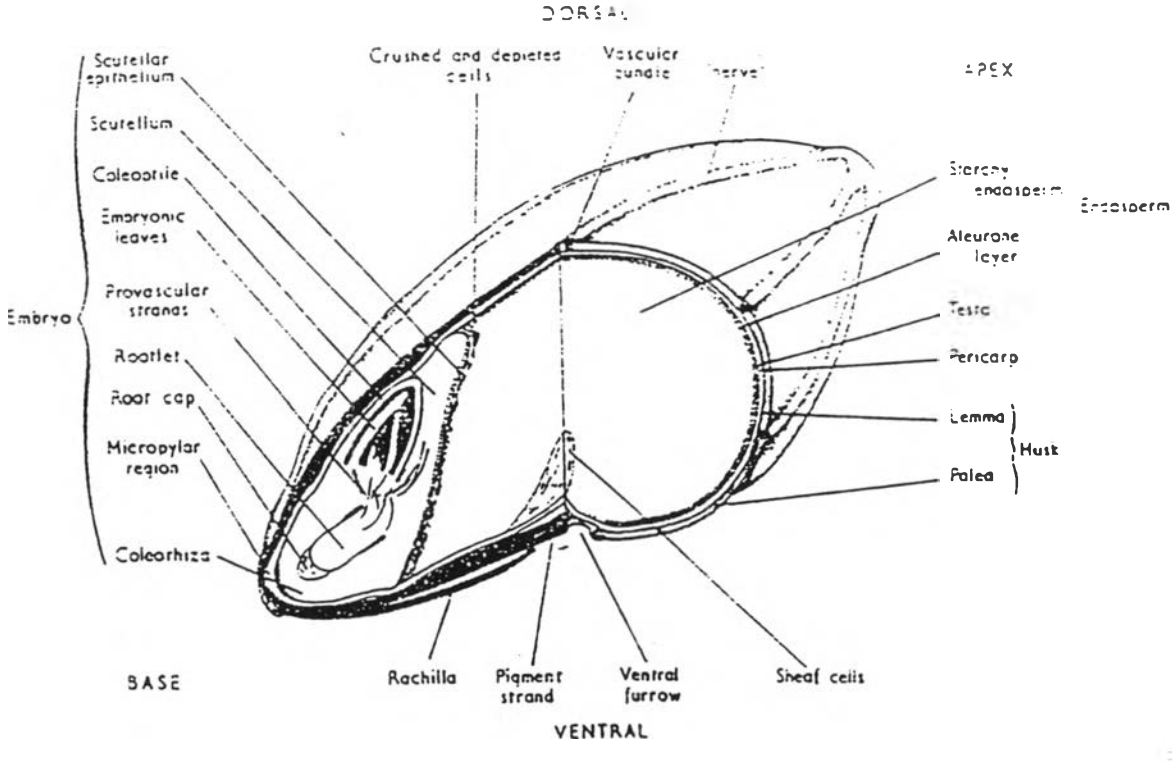
ลำต้นของข้าวบาร์เลย์เหมือนข้าวแต่การออกรวงเป็นช่อ มีสองพันธุ์คือ พันธุ์สองแถวมีหนึ่งช่อและพันธุ์หกแถวมีสามช่อ แสดงดังในรูปที่ 2.1

ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าวบาร์เลย์ (Briggs, 1978)

เมล็ดข้าวบาร์เลย์แห้งจะประกอบด้วย เปลือก (husk) และ pericarp 10%, aleurone ที่เชื่อมกับ testa และ pigment 14%, แป้งใน endosperm 73% และ embryo 3% ส่วนประกอบต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ข้าวบาร์เลย์พันธุ์หกแถว (A) และพันธุ์สองแถว (B) (Leonard และ Martin, 1963)



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางเมล็ดข้าวบาร์เลย์แสดงตำแหน่งของส่วนประกอบต่างๆ (Briggs, 1978)

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวบาร์เลย์

เมล็ดข้าวบาร์เลย์ประกอบด้วยแป้งมากที่สุด มีโปรตีนและไขมันต่ำ ส่วนเปลือก (lemma and palea) จะประกอบด้วย lignin, pentosans, mannan, uronic acids, hemicelluloses และ cellulose fibers (Briggs, 1978) ส่วน pericarp จะไม่มี lignin แต่องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ คล้ายคลึงกับเปลือก ส่วน testa ประกอบด้วย crude cellulose และสาย pigment ของ alkane waxes ซึ่งทำหน้าที่ปกป้องเมล็ดจากปฏิกิริยาทางเคมีและจุลินทรีย์ ส่วน polyphenols จะเชื่อมกับโปรตีน และอยู่ใน pericarp, testa และ aleurone layer ส่วน aleurone จะมีผนังเซลที่หนา ประกอบด้วย arabinoxylans, โปรตีน, phytic acid และอุดมไปด้วยไขมันโดยปราศจากเกลือแร่ ส่วน subaleurone layer ของ endosperm จะมีแป้งต่ำ มีโปรตีน และ β-amylase สูง ส่วน endosperm จะประกอบด้วยแป้งประมาณ 85-89 % (Munck, 1981) ส่วน embryo จะประกอบด้วย cellulose 7 %, lipid 14-17 %, sucrose 14-15 %, raffinose 5-10 %,ash 5-10 % และ protein 34 % (Briggs, 1978) โดยผนังเซลของ embryo จะประกอบด้วย uronic acids, pectin และ hemicellulose (Munck, 1981) ส่วนประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวบาร์เลย์แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวบาร์เลย์

Item (%by dry weight)	Whole Barley	Pearled Barley*
Dry matter	91.21	90.67
Crude protein	11.73	12.45
Crude fat	1.52	1.20
Crude fiber	6.56	1.85
Crude ash	2.52	1.53
Nitrogen-free extract [a]	77.67	82.97
Cellulose (included in crude fiber)	5.29	1.45

* Pearled Barley หมายถึง เมล็ดข้าวบาร์เลย์ที่ปราศจากเปลือก

[a] Principally starch and free sugars, but includes part of the total or dietary fiber (Larson และ Oldfield, 1961)

คุณค่าทางอาหารของเมล็ดข้าวบาร์เลย์ (Hockett และ Nilan, 1985)

เมล็ดข้าวบาร์เลย์เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มากที่สุดแหล่งหนึ่งและยังเป็นแหล่งของสารอาหารอื่นๆ อันประกอบด้วย โปรตีน, ไขมัน, เกลือแร่ วิตามิน โดยมีรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. คาร์โบไฮเดรต

เม็ดแป้ง (starch granules) ในข้าวบาร์เลย์แบ่งเป็น 2 กลุ่มตามขนาดคือ 1.7-2.5 μm และ 22.5-47.5 μm และในเม็ดแป้งจะประกอบด้วย ไขมัน เกลือแร่ โปรตีน และนิวคลีโอไทด์เล็กน้อย แป้งจะถูกย่อยสลายได้ด้วยด้วยเอนไซม์กลุ่ม diastatic ในระหว่างการงอกซึ่งได้แก่ phosphorylase, α-glucosidase, α-amylase, β-amylase และ transglucosylase (Briggs, 1978)

2. โปรตีน

เมล็ดข้าวบาร์เลย์ประกอบด้วยโปรตีน 15-28% และมี lysine 2.2-3.6%

3. ไขมัน

บาร์เลย์มีไขมันต่ำ (2-3 %) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดและข้าวโอ๊ต ไขมันจะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ 77.9 % ซึ่งจะประกอบไปด้วย palmitic acid และ กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เช่น oleic, linoleic และ linolenic โดยจะอยู่ใน endosperm 77 %, embryo 18 %, hull 5 %

4. เกลือแร่

ปริมาณเถ้าของบาร์เลย์ประมาณ 2-3% โดยขึ้นอยู่กับฤดูที่ปลูก สภาพและชนิดดิน

5. วิตามิน

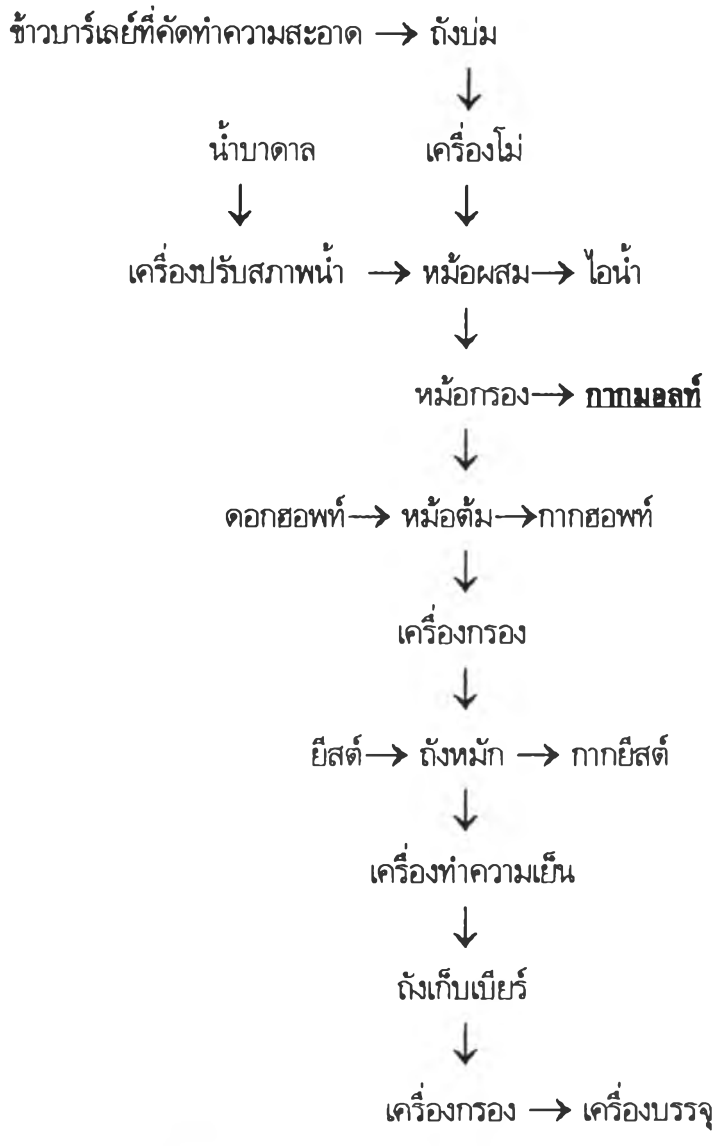
บาร์เลย์เป็นแหล่งของวิตามิน B-complex ได้แก่ thiamine (B1), pyridoxine (B6), riboflavin (B2) และมี niacin สูง มีวิตามิน E เล็กน้อยซึ่งพบใน germ

การใช้ประโยชน์

บาร์เลย์นิยมใช้สำหรับเป็นอาหารสัตว์ อาหารมนุษย์ และใช้ในการทำเบียร์ซึ่งถือเป็นวัตถุดิบหลักของการทำเบียร์และนิยมใช้มากกว่าข้าวสาลี และข้าวไรย์เนื่องจากมีการเชื่อมเกาะของ lemma และ palea ช่วยป้องกันการทะลุของการแตกหน่อ (acrospire) ในระหว่างงอก ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการกรองในระหว่างการ brewing และให้ kernel ที่แน่นเนื้อ (firmer) ที่ระดับความชื้นสูงๆ ที่ใช้ในการ steeping และ malting และพบว่า 96.7 % ของข้าวบาร์เลย์จะถูกใช้ในการทำเบียร์ ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 5% จะถูกใช้สำหรับ baking, malt extract (powder และ syrup), ผลิต alcohol และ malt vineger (Briggs, 1978)

กากมอลท์ (spent grain) (Vincent และ Bavisotto, 1965)

กากมอลท์เป็นผลิตผลพลอยได้จากการผลิตเบียร์ ซึ่งได้จากการนำข้าวบาร์เลย์ มาทำให้งอกในสภาวะที่เหมาะสม แล้วบดละเอียดผสมกับน้ำ จะได้สารละลายน้ำตาลที่เรียกว่าเวอร์ท (wort) จากนั้นนำเวอร์ทไปต้มแล้วกรองแยกกากมอลท์ ดังรูปที่ 2.3 ในการผลิตเบียร์มีกากมอลท์เหลือประมาณ 22%ของน้ำหนักมอลท์ที่ใช้เริ่มต้นในการผลิต มีลักษณะเปียก ความชื้นประมาณ 70-80% ในภาวะเช่นนี้อาจเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราได้ง่าย เพื่อเป็นการเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้นกากมอลท์จึงมักถูกกำจัดความชื้นออกไปโดยการทำแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น ดังนั้นถ้าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงจะเป็นผลดีในการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้กับกากมอลท์



รูปที่ 2.3 กรรมวิธีการผลิตเบียร์ (จันทนี จงนิตยการ และชัชวาลย์ จีนเลิศ, 2529)

จากรูปที่ 2.3 อธิบายขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

1. นำข้าวบาร์เลย์มาคัดทำความสะอาดและตรวจสอบคุณภาพ

2. นำข้าวบาร์เลย์ที่ทำความสะอาดแล้วมาแช่น้ำประมาณ 50 ชั่วโมง แล้วนำมาเพาะให้เกิดการงอกต้นอ่อนและรากอ่อน (malt) ระหว่างการงอกนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในของเมล็ด หลังจากนั้นนำไปผ่านการอบแห้ง เพื่อหยุดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ด และทำให้เกิดสารประกอบให้สีและกลิ่นแก่เบียร์ (ใช้เวลา 6-8 วัน)

3. การผสม (Mashing) เริ่มจากการนำข้าวมอลท์มาบดให้เมล็ดข้าวแตก จากนั้นผสมกับน้ำภายในถังผสม (mash tub) แล้วให้ความร้อนแก่ของผสมนั้นที่อุณหภูมิพอเหมาะ เพื่อให้เอนไซม์ที่มีอยู่ในเมล็ดย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต แป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

การผสม มี 2 วิธีคือ

- Infusion เป็นการให้ความร้อนแก่ของผสมทั้งหมด เพื่อให้เอนไซม์ทำงานจนแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาลหมด

- Decoction เป็นการนำส่วนหนึ่งของๆผสมมาต้มให้เดือด แล้วนำกลับไปผสมกับของผสมส่วนที่เหลือ ซึ่งทำให้ของผสมทั้งหมดมีอุณหภูมิสูงขึ้น

4. การกรอง (Clarification of wort) ผ่านของผสมจากหม้อผสมไปยังหม้อกรองเพื่อกรองกากมอลท์ออกจากเวอร์ท

5. การต้มเวอร์ท ต้มเวอร์ทที่ผ่านการกรองโดยจะมีการเติมดอกฮอพท์ในระหว่างการต้มเพื่อให้ได้ความขมและกลิ่นของเบียร์ โปรตีนบางส่วนภายในเวอร์ทจะตกตะกอนระหว่างการต้ม กรองกากฮอพท์ออกด้วยเครื่องกรองในสภาวะเย็นเพื่อรักษาคุณภาพ ป้องกันการเสียและให้มีอุณหภูมิเหมาะต่อการหมักของยีสต์โดยจะลดอุณหภูมิลงเหลือประมาณ 6-8 องศาเซลเซียส

6. การหมักเพื่อแปรสภาพเวอร์ทเป็นเบียร์โดยการเติมยีสต์และเติมอากาศในขั้นตอนนี้ยีสต์จะเริ่มใช้น้ำตาลเป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

กระบวนการหมักเป็นกระบวนการทางชีวเคมีทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นความร้อนจะเป็นตัวเร่งให้กิจกรรม (activity) ของยีสต์เป็นไปอย่างรวดเร็ว และทำให้แย่งอาหารกันเอง ขณะเดียวกันก็จะเกิดผลข้างเคียง (by product) ตัวอื่นที่ไม่ต้องการเช่น แอลกอฮอล์ตัวอื่น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้ค่อนข้างคงที่ในระยะแรกของการหมัก เมื่อปริมาณน้ำตาลลดลงมากแล้ว จึงค่อยๆ ลดอุณหภูมิการหมักลงเรื่อยๆ จนการหมักสิ้นสุดระยะเวลาของการหมักจะประมาณ 7-10 วัน

7. การบ่มและการเก็บเบียร์ (Maturation and cold storage) เบียร์ที่แยกเอายีสต์ออกแล้วจะนำไปเก็บในที่ๆเย็นจัดและบ่มเพื่อให้ปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ค่อยๆเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ให้หมด ในสภาพที่เย็นจัดนี้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะสามารถจับตัวกับน้ำเบียร์ได้ดี และสารแขวนลอยต่างๆ ที่เกิดขึ้น จะค่อยๆ จมตัวลงสู่ก้นถังทำให้เบียร์ใสขึ้น ปกติการบ่มและการเก็บเบียร์จะใช้เวลาประมาณ 4-6 สัปดาห์ เบียร์ที่ได้ในตอนนี้เป็นเบียร์ที่พร้อมจะนำมาดื่มได้ แต่เนื่องจากสารแขวนลอยบางตัวเช่น เซลของยีสต์และโปรตีนปะปนอยู่ทำให้เบียร์ไม่ใสน่าดื่ม

จึงต้องทำการกรองเบียร์เพื่อทำให้ใสยิ่งขึ้น เบียร์ที่กรองได้ในขั้นนี้เป็นเบียร์ขั้นสุดท้ายที่พร้อมดื่มได้ที่เรียกว่า Draught beer หรือ Draft beer หรือ เบียร์สด แต่ถ้านำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ (Pasteurization) เพื่อทำลายเซลยีสต์ที่เหลืออยู่เนื่องจากเซลที่เหลืออยู่นี้จะยังคงมีกิจกรรมเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีผลทำให้ความดันภายในขวดสูงขึ้นและอาจทำให้ขวดแตกและระเบิดขณะทำการขนส่งและอีกประการหนึ่งคือ เซลยีสต์ที่หลงเหลืออยู่จะต้องมีสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตแต่เมื่อสารอาหารมีน้อยลงยีสต์จะเริ่มย่อยสลายตัวเอง (autolysis) ซึ่งจะทำให้เกิดสารประกอบทางเคมีที่ไม่ต้องการ เช่น Diacetyl

8. จากนั้นนำเบียร์ที่ผลิตได้ผ่านเครื่องบรรจุเพื่อปิดฉลากและฝาจุก เข้าเครื่องบรรจุหีบห่อเพื่อรอการจำหน่าย

องค์ประกอบของกากมอลท์ (Dreese และ Hosency, 1982)

ประกอบด้วย 2 ส่วน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันคือ

1. ส่วนของเปลือก (Husk)

ส่วนของเปลือกมีลักษณะ ขนาดอนุภาคใหญ่ มีเส้นใยอาหารปริมาณมาก และเนื้อสัมผัสหยาบ

2. ส่วนของรำ (Pericarp)

ส่วนของรำมีลักษณะ ขนาดอนุภาคเล็ก สีน้ำตาลดำ มีโปรตีนปริมาณมาก และเนื้อสัมผัสนุ่มร่วนปน

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่ามีปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารอยู่ค่อนข้างสูง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกากมอลท์ (Vincent และ Bavisotto, 1965)

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนักของกากมอลท์แห้ง
ความชื้น	10.4
โปรตีน	27.7
เส้นใยอาหาร	15.3
ไขมัน	6.9
เถ้า	3.7
Nitrogen free extract	35.9

การใช้ประโยชน์ของกากมอลท์

มีผู้ศึกษาวิจัยและรายงานกระบวนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารของกากมอลท์ โดยการใช้ประโยชน์แบ่งเป็น 2 ด้าน คือ

1. การใช้ประโยชน์ทางด้านโปรตีน

Kishi และคณะ (1992) ผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนสูง (Protein-Rich Products) โดยการร่อนผ่านตะแกรงในสภาพเปียก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ 50.8 %โดยน้ำหนักแห้ง Finley, Walker และ Hautala (1976) ผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้น โดยการกดอัด (Press) กากมอลท์แล้วนำของเหลวที่ได้ไปปั่นแยก จะได้ส่วนตะกอนสีน้ำตาลดำซึ่งคือโปรตีนเข้มข้น มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณ 50-55 %โดยน้ำหนักแห้ง Vincent และ Bavisotto (1965) ผลิตผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเซต ด้วยเอนไซม์ แพนครีเอติก, ปาเปน, ฟิซิน และ โบรมิเลน โดยใช้เดี่ยวๆ หรือผสมที่ความเข้มข้น 0.05-0.40%โดยน้ำหนักกากมอลท์สด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโปรตีนประมาณ 65-70% โดยน้ำหนักแห้ง

2. การใช้ประโยชน์ทางด้านเส้นใยอาหาร

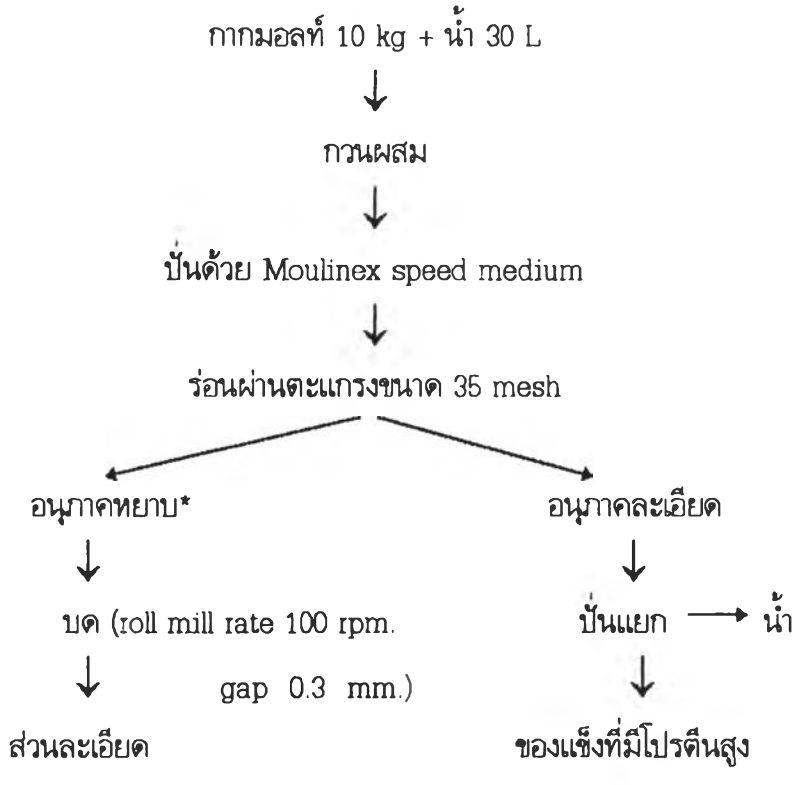
Chaudhary (1982) ผลิตผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารสูงจากกากมอลท์แห้งโดยการร่อนผ่านตะแกรง 35, 48, 65, 100 และ 150 mesh พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ร่อนผ่านตะแกรงมีปริมาณเส้นใยอาหารลดลงตามลำดับ คือ 85, 74.5, 57.2, 46 และ 38.9%โดยน้ำหนักตามลำดับ Kissell และ Prentice (1979) ผลิตผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่มีเส้นใยอาหารสูงจากกากมอลท์ โดยนำกากมอลท์มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 ^{o}C แล้วบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 78 mesh นำมาเติมลงในคุกกี้ พบว่าสามารถเติมในคุกกี้ได้ 20 %โดยน้ำหนักแป้ง โดยใช้เลซิติน 1-2 %ของน้ำหนักแป้ง เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ และคุกกี้ที่ผลิตได้จะมีเส้นใยอาหาร 4.8 %โดยน้ำหนัก

การแยกส่วนของโปรตีนและเส้นใยอาหารในกากมอลท์

Kishi และคณะ (1992) ผลิตผลิตภัณฑ์กากมอลท์ที่อุดมไปด้วยโปรตีน งานวิจัยนี้ได้แยกส่วนโปรตีนออกจากกากมอลท์ โดยพบว่าเมื่อกากมอลท์ถูกบด (press) ในสภาพเปียก ต้นอ่อน (germ) และอนุภาคอื่นๆ ที่มีโปรตีนสูงจะถูกแยกออกจากเปลือก ในขณะเดียวกันก็จะถูกบดให้ละเอียด ส่วนเปลือกจะอ่อนตัวและไม่ถูกบด แต่ถ้าบดในสภาพแห้งจะทำให้เปลือกถูกบดละเอียดยากต่อการแยกส่วนของโปรตีนออกมา เครื่องที่ใช้ในการบดคือ ลูกกลิ้ง (roll mill) โดยปรับระยะห่างให้อยู่ในช่วง 0.1-0.3 มิลลิเมตร และขณะบดต้องเติมน้ำให้เพียงพอหรือมากกว่า 65 %โดยน้ำหนักของกากมอลท์ จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30-35 mesh โดยร่อนในน้ำเพื่อใช้น้ำเป็นตัว

ชะล้างส่วนโปรตีนไม่ให้ติดกับเปลือก และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกจึงควรบดและร่อนผ่านตะแกรงซ้ำ 2-5 ครั้ง โดยขั้นตอนการผลิตแสดงดังในรูปที่ 2.4 และพบว่าขนาดตะแกรงมีผลต่อการแยกส่วนของโปรตีน และเส้นใยอาหาร Prentice และ Appolonia (1977) ทดลองบดและร่อนกากมอลท์ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ พบว่า เมื่อขนาดตะแกรงละเอียดมากขึ้น เปอร์เซนต์ไนโตรเจนจะเพิ่มมากขึ้น และอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (32-80 mesh) จะมีโปรตีนต่ำกว่าวัตถุดิบเริ่มต้น ส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็น fibrous, husk tissue ส่วนอนุภาคเล็ก (150-200 mesh) จะมีโปรตีนมากกว่าวัตถุดิบตั้งต้น 1.25-1.5 เท่า ประกอบด้วยส่วนของ embryo tissue ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Finley และ Hanamoto (1980) ที่ทดลองบดกากมอลท์ด้วย pilot scale flour mill พบว่า ส่วนหยาบของกากมอลท์ (coarse bran fraction) จะมีส่วนเส้นใยอาหารมากกว่าโปรตีน (1.33%N,26.4% fiber) และส่วนละเอียด (flour fraction) จะมีโปรตีนสูง (7.62 %N) โดยกากมอลท์ตั้งต้นจะมีโปรตีน 5.01 % มีเส้นใยอาหาร 12.9 %

วัตถุดิบ : กากมอลท์สดความชื้น 77.6 %โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์กากมอลท์ที่อุดมไปด้วยโปรตีน (Kishi และคณะ, 1992)

* นำอนุภาคหยาบมาบดและร่อนผ่านตะแกรงอีก 2 ครั้งจะได้ส่วนละเอียดที่มี Protein recovery ratio 47.2 %

Kishi และคณะ (1992) ต้องการเพิ่มปริมาณโปรตีนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น เช่นใช้ผลิตเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารจึงได้เพิ่มขั้นตอนการกำจัดไขมันขึ้นเพราะไขมันจะมีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน ถ้านำมาปรุงแต่งกลิ่นรสอาจทำให้ประสิทธิภาพการผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสลดลง ในการทดลองนี้กำจัดไขมันโดยนำอนุภาคละเอียด 100 กรัม + เอธานอล 300 ml สกัดที่ 30 ^{o}C 1 ชั่วโมง พบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่อุดมด้วยโปรตีนที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนักแห้งและเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดอะมิโนพบว่าจะมีกรดอะมิโน arginine, lysine และ aspartic acid เท่านั้นที่น้อยกว่าโปรตีนที่ได้จากถั่วเหลืองสกัดไขมัน แต่จะมี methionine และ cystine มากกว่าเล็กน้อย มีองค์ประกอบของ proline ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสหวาน มากกว่าโปรตีนที่ได้จากถั่วเหลืองถึง 2 เท่า สามารถใช้ผลิตสารปรุงแต่งที่มีรสชาติแปลกใหม่ ที่แตกต่างจากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน องค์ประกอบของกรดอะมิโนแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดอะมิโนในผลิตภัณฑ์กากมอลท์ที่อุดมด้วยโปรตีนและถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน (Kishi และคณะ, 1992)

ชนิด	ปริมาณกรดอะมิโน (%โดยน้ำหนักแห้ง)								
	Arg.	Lys.	Asp.	Met.	Cys.	Pro.	Leu.	Val.	Ala.
ผลิตภัณฑ์โปรตีนจากกากมอลท์	2.67	1.82	3.66	1.13	1.11	5.51	4.36	3.00	2.49
ถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน	3.85	3.16	5.66	0.73	0.75	2.60	3.91	2.37	2.22

<u>การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซตจากส่วนโปรตีนของกากมอลท์</u>

Hydrolysate Vegetable Protein (HVP) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย กรดอะมิโน เปปไทด์ และสารประกอบอื่นๆที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีนจากพืช การย่อยสลายโปรตีนในระดับอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ การย่อยสลายด้วยกรด การย่อยสลายด้วยด่าง และการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Hill, 1965)

1. การย่อยสลายด้วยกรด

นิยมใช้กรดซัลฟุริกหรือกรดไฮโดรคลอริก แต่พบว่า เมื่อย่อยโปรตีนด้วยกรดซัลฟุริก อิออนซัลเฟต (SO_4^{2-}) จะถูกแยกออกโดยการเติมแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือแบเรียมไฮดรอกไซด์ ($Ba(OH)_2$) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาให้แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) หรือแบเรียมซัลเฟต ($CaSO_4$) และตกตะกอน ซึ่งตะกอนดังกล่าวสามารถดูดซับกรดอะมิโนหรือสารประกอบอื่นๆ ที่ได้จากการย่อยโปรตีน ดังนั้นจึงนิยมใช้กรดไฮโดรคลอริกมากกว่ากรดซัลฟุริก (Sahyun, 1944) Hill (1965) ทดลองย่อยสลายโปรตีนในกลูเตนด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 20 %โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ 110 ^{o}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และแยกกรดออกหลังการย่อยสลาย พบว่าจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Degree of Hydrolysis (DH) 89.50% แต่จะใช้ความเข้มข้นและอุณหภูมิในการย่อยสลายสูง การย่อยสลายด้วยกรดจะเป็นวิธีที่ง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้เอนไซม์แต่มีข้อเสียคือเกิดการสลายของ tryptophan ในบางสภาวะ cystine และ threonine อาจถูกทำลายด้วย และยังมีกลิ่นกรดตกค้างในผลิตภัณฑ์ (Olcott และ Fraenkal, 1947) ซึ่งการสลายของ tryptophan เกิดจากการรวมตัวกับน้ำตาลที่มีหมู่ aldehydes เช่น glucose และ fructose ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล (Olsman, 1979) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลดำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์และยังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายด้วยกรดจะมี chloro- และ dichloro-propanols ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายด้วยกรดตกค้างในผลิตภัณฑ์สุดท้ายดังนี้

(a) Monols: Monochloropropanols (MCPs) เช่น 1-, 2- และ 3-chloropropanol.

Dichloropropanols(DCPs) เช่น 2,3-dichloropropan-1-ol,1-3-dichloropropan-2-ol

(b) Diols: (MCDPs) เช่น 2-chloro-1,3-propandiol, 3-chloro-1,2-propandiol

สารเหล่านี้ไม่ควรจะมีตกค้างในผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นสารที่เป็นอันตราย (May, 1974) ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดออกก่อนนำไปใช้เป็นสารปรุงแต่งและพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสเค็มซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์

2. การย่อยสลายด้วยด่าง

นิยมใช้ sodium hydroxide, potassium hydroxide และ barium hydroxide ในการย่อยสลายด้วยด่างแม้ tryptophan ถูกทำลายน้อย แต่กรดอะมิโนอื่นอาจเกิด racemization ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปจาก L-form เป็น D-form ที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ได้ และทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในผลิตภัณฑ์ (Hill, 1965) แต่นิยมใช้สำหรับการผลิตกรดอะมิโน tryptophan เพื่อเป็นส่วนประกอบทางโภชนาการเท่านั้น (Grace, 1974)

3. การย่อยสลายด้วยเอนไซม์

การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ Proteases เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะปฏิกิริยาไม่รุนแรง ทำให้คงคุณค่าทางโภชนาการไว้ได้มากกว่าการย่อยสลายด้วยกรดและด่าง (Petersen, 1981) การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้มีขนาดเล็กลง เช่น กรดอะมิโน เปปไทด์ โพลีเปปไทด์ที่มีขนาดเล็ก สารเหล่านี้จะให้กลิ่นรสหรือเป็นสารตั้งต้นของสารให้กลิ่นรส ซึ่งจะให้กลิ่นรสอย่างไรขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณกรดอะมิโน ลำดับของกรดอะมิโน และการจับเรียงตัวของเปปไทด์ในโปรตีน ระดับการเกิดการย่อยสลาย รวมทั้งองค์ประกอบที่ได้ นอกจากนี้องค์ประกอบอื่นๆในอาหารเช่น ไขมัน หรือ คาร์โบไฮเดรตซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของ HVP ด้วย (Van Sydow และ Qvist, 1977) ดังนั้นแหล่งโปรตีนต่างชนิดกันจะให้ HVP ที่มีคุณสมบัติในการให้กลิ่นรสต่างกัน (Grace, 1974) และวัตถุดิบที่นำมาใช้ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ควรมีโปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง (วันชัย สมชิต และละมัย ชูเกียรติวัฒนา, 2524) และมีไขมันในปริมาณต่ำ เนื่องจากไขมันในวัตถุดิบมีผลในการขัดขวางการย่อยสลายโปรตีน เพราะ ไขมันอาจเกิด cross link กับโมเลกุลของโปรตีน โครงสร้างดังกล่าวจะกีดขวางการเข้าไปย่อยโปรตีน (Roach และ Gehrke, 1970)

เอนไซม์โปรติเอส (Protease)

โปรติเอส เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายโปรตีน พบทั้งในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ โปรติเอสมีมากมายหลายชนิด ซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างกันทางด้านความจำเพาะต่อสับสเตรต กลไกในการเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของบริเวณเร่ง (active site) สารยับยั้งและสารเร่งปฏิกิริยา ลำดับของกรดอะมิโนในโมเลกุล ช่วง pH และอุณหภูมิในการทำงาน และน้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการจัดแบ่งกลุ่มของโปรติเอสไว้หลายวิธี เช่น จัดตามแหล่งกำเนิดคือ จากสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ หรือจัดแบ่งตามลักษณะการย่อยสลายพันธะเปปไทด์คือการย่อยสลายพันธะเปปไทด์จากปลายสาย (exopeptidase) และการย่อยสลายพันธะเปปไทด์อย่างอิสระภายในสายโพลีเปปไทด์ (endopeptidase) หรือจัดแบ่งตามลักษณะของบริเวณเร่งของเอนไซม์ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด คือ (Whitaker, 1972)

1. ซีรีน โปรติเอส

เอนไซม์กลุ่มนี้จะมีกรดอะมิโนซีรีน และฮิสติดีนอยู่ที่บริเวณเร่ง นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยได้อีก คือ

1.1 อัลคาไลน์โปรติเอส (Alkaline protease) เอนไซม์ในกลุ่มนี้เป็นพวก endopeptidase มี pH ที่เหมาะสมในการทำงานที่ pH สูงกว่า 7 เช่น Subtilisin เป็นต้น

1.2 โปรติเอสที่มีคุณสมบัติคล้ายทริปซิน (Trypsin-like protease) เช่น ทริปซิน (Trypsin) และ ไคโมทริปซิน (Chymotrypsin) เป็นต้น

2. เมทัลโล โปรติเอส (Metallo-protease)

เอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีอิออนของโลหะอยู่ที่บริเวณแร่ง เช่น ทร็โมไรซิน (Thermolysin) อิออนสังกะสี (Zn^{2+}) ที่บริเวณแร่ง ดังนั้นเอนไซม์กลุ่มนี้จะถูกยับยั้งด้วยสารพวก metal chelating agents เช่น 1,10-phenanthroline, EDTA มี pH ที่เหมาะสมในการทำงานในช่วง pH ที่เป็นกลาง (pH 6.5-7.5)

3. แอซิด โปรติเอส (Acid protease) หรือ แอสปาร์ติคโปรติเอส (Aspartic protease)

เอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีกรดอะมิโนแอสปาร์เทตอยู่บริเวณแร่ง และสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH 2-5 ตัวอย่างเช่น เรนนิน (Rennin), เปปซิน (Pepsin) เป็นต้น

4. ไทออล โปรติเอส (Thiol protease) หรือซิสเตอีน โปรติเอส (Cysteine protease)

เอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีกรดอะมิโนซิสเตอีนอยู่ที่บริเวณแร่ง เช่น โบรมิเลน (Bromelain) และ ปาเปน (Papain)

เอนไซม์โบรมิเลน

โบรมิเลนมีหมายเลขรหัสใน Enzyme Commission คือ E.C.3.4.4.24 (Barman, 1969.) เป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีน (Proteolytic enzyme) ที่มีบริเวณแร่งประกอบด้วยกลุ่มซัลไฟไฮดริล (sulfhydryl) หรือกลุ่มไธออล (-SH) พบในเซลสับปะรด (*Ananas comosus* Linn.)

สมบัติของเอนไซม์โบรมิเลน

สมบัติทางเคมี

โบรมิเลนเป็นไกลโคโปรตีน ส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรตจะเป็นพวกโอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งประกอบด้วย แมนโนส (Man) 3 โมเลกุล ไซโลส (Xyl) 3 โมเลกุล และอะซีทิลกลูโคซามีน (GlcNAc) 2 โมเลกุล ต่อ 1 โมเลกุลของโบรมิเลน (Murachi, Suzuki และ Takahashi, 1967; Scocca และ Lee, 1969; Yasuda, Takahashi และ Murachi, 1970) สารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนเหล่านี้เชื่อมต่อกับสายโพลีเปปไตด์มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนที่เป็นโพลีเปปไตด์

ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำนวน 285 ตัว ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีสมบัติเป็นเบสมากกว่าเป็นกรด (Murachi, 1964)

polypeptide (285 amino acid) - α - D - Man (1$\rightarrow$2) - α - D - Man (1$\rightarrow$2 or 6) - α - L-Fuc - (1$\rightarrow$6 or 2) - α - D - Man - (β - D - Xyl) - β - D- GlcNAc - (1$\rightarrow$3 or 4) - β - D-GlcNAc - (1$\rightarrow\beta$ - NH_2 - N of Asn) - peptide

รูปที่ 2.5 โมเลกุลของเอนไซม์โบรมิเลน

โบรมิเลนมีกลุ่มไธออล (-SH) ของซีสเตอีน (cysteine residue) และกรดอิมิดาโซล (imidazole) ของฮีสติดีน (histidine residue) อยู่ที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ (Husai และ Lowe, 1968; Husai และ Lowe, 1969) กลุ่มเหล่านี้ทำหน้าที่จับกับสับสเตรทซึ่งคล้ายกับปาเปนและไฟซิน โบรมิเลนสามารถย่อยพันธะเปปไทด์ (peptide) เอไมด์ (amide) และเอสเทอร์ (ester) ของกรดอะมิโนและเปปไทด์ชนิดอื่นได้ดี ตัวอย่างเช่น N-benzoyl-L-argininethyl ester (N-BAEE) และ N-benzoyl-L-argininamide (BAA) (Yamamoto, 1975) โบรมิเลนสามารถย่อยสับสเตรตจำพวกโพลีเปปไทด์ได้ดีคล้ายกับปาเปนและฟิซิน ต่างกันที่โบรมิเลนมีความจำเพาะในการย่อยพันธะที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโน อาร์จีนีน-อะลานีน (Arg-Ala) และ อะลานีน-กรดกลูตามิค (Ala-Glu) แต่ไม่สามารถย่อยพันธะที่เชื่อมระหว่างอาร์จีนีน-อาร์จีนีน (Arg-Arg) และ ไลซีน-ไทโรซีน (Lys-Tyr) (Murachi และ Neurath, 1960) โบรมิเลนย่อยเคซีนได้ดีกว่าฮีโมโกลบินที่พีเอช 7.2 และย่อยเจลาตินได้ดีกว่าที่พีเอช 5.0 (Inagami และ Murachi, 1963; Reed, 1975) โบรมิเลนย่อยสลายตัวเองได้ดีที่พีเอชประมาณ 4.6 (Glazer และ Smith, 1971) ความเสถียรของโบรมิเลนอยู่ในช่วงพีเอช 3.0-5.5 ที่อุณหภูมิ 35-60 $^{\circ}C$

สมบัติทางฟิสิกส์ (Ota, Moore และ Stein, 1964; Murachi, 1964)

โบรมิเลนมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 33,000 ดาลตัน ละลายน้ำแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เช่น แอลกอฮอล์ คีโตน คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ หรือเกลืออนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต โปตัสเซียมซัลเฟต มีจุดไอโซอีเลคตริค (isoelectric) ที่พีเอช 9.55 มีค่าคงที่ของการตกตะกอน (sedimentation constant, S_{20}) 2.73 S

การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์โบรมิเลน

เอนไซม์โบรมิเลนสามารถใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมอาหาร ในอุตสาหากรรมอาหารจะนิยมใช้ในการย่อยโปรตีน เช่น การทำให้เนื้อนุ่มเนื่องจากโบรมิเลนย่อยไมโอไฟบริลลาโปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันทำให้ความเหนียวของเนื้อลดลง (Kang และ Eldon, 1970) การทำเบียร์ให้ใส ในการหมักเบียร์ในระยะเวลานานที่อุณหภูมิต่ำ เบียร์จะขุ่นเนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนจากข้าวมอลท์กับสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenolic compounds) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโมเลกุลสูงและมีการละลายลดลงที่อุณหภูมิต่ำๆ จึงเกิดเป็นตะกอนในเบียร์ทำให้เบียร์ขุ่นดังนั้นเมื่อเติมสารละลายโบรมิเลนโปรตีนจะถูกย่อยทำให้เบียร์ใสขึ้น (Melton, 1937) โบรมิเลนใช้ย่อยโปรตีนในแป้งที่มีโปรตีนสูงเพื่อให้เหมาะสมกับการทำขนมปังกรอบ (Webb, 1964) ใช้ในการหมักน้ำปลาโดยช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายเนื้อปลาจึงทำให้ลดระยะเวลาการหมักให้สั้นลง (บังอร เชื้อโพธิ์หก, มยุรี จัยวัฒน์ และนงนุช รักสกุลไทย, 2524)

เอนไซม์ปาเปน

ปาเปนมีหมายเลขรหัสใน Enzyme Commission คือ E.C.3.4.4.10 (Whitaker, 1972) เป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่มีบริเวณแร่งประกอบด้วยกลุ่มซัลไฟไฮดริล (sulfhydryl) หรือกลุ่มไธออล (-SH) พบในมะละกอ ซึ่งเป็นพืชที่อยู่ใน Family Caricaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya* Linn.

สมบัติของเอนไซม์ปาเปน

สมบัติทางเคมี

เอนไซม์ปาเปน เป็นสายโพลีเมอร์สายเดี่ยวที่เกิดจากการเรียงตัวของกรดอะมิโนจำนวน 212 ตัว โดยจะเป็นกรดอะมิโนซีสเตอีน 7 ตัว อะมิโนซิสเตอีนจำนวน 6 ตัวจะจับกันเป็นพันธะไดซัลไฟด์ 3 พันธะ และกรดอะมิโนซิสเตอีนอีกตัวจะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 25 ซึ่งเป็นบริเวณแร่ง (Husai และ Lowe,1969) ปาเปนสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโปรตีน เปปไทด์ เอไมด์ และเอสเทอร์ของกรดอะมิโน เช่น N-Benzoyl-L-arginine-p-nitroanilide (N-BAPNA), N-Benzoyl-L-arginin-ethyl ester (BAEE), N-Benzoyl-L-argininamide เป็นต้น (Arnon, 1970) ปาเปนไม่สามารถย่อยโอลิโกเปปไทด์ที่มีเฟนิอะลานีนเป็นกรดอะมิโนตัวที่สองจาก C-terminal ปาเปนสามารถย่อย

เคซีน และอัลบูมินได้ดีที่พีเอช 7.0 และย่อยเจลาตินได้ดีที่พีเอช 5.0 (Yamamoto, 1975) ปาเปนจะย่อย สับเตรตที่มี L-arginine, L-lysine, glycine และ L-citrulline (Whitaker, 1972)

สมบัติทางฟิสิกส์ (Arnon, 1970)

ปาเปนมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 20,700-24,000 ละลายน้ำ กรดอะมิโนที่ปลายด้าน N ของสายโพลีเพปไทด์ คือ ไอโซลิวซีน มีจุดไอโซอีเลคตริคที่พีเอช 8.75

การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ปาเปน

การใช้ประโยชน์จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการใช้ประโยชน์ของเอนไซม์โบรมิเลน สมบัติต่างๆของเอนไซม์โบรมิเลนและปาเปนสรุปดังตารางที่ 2.4

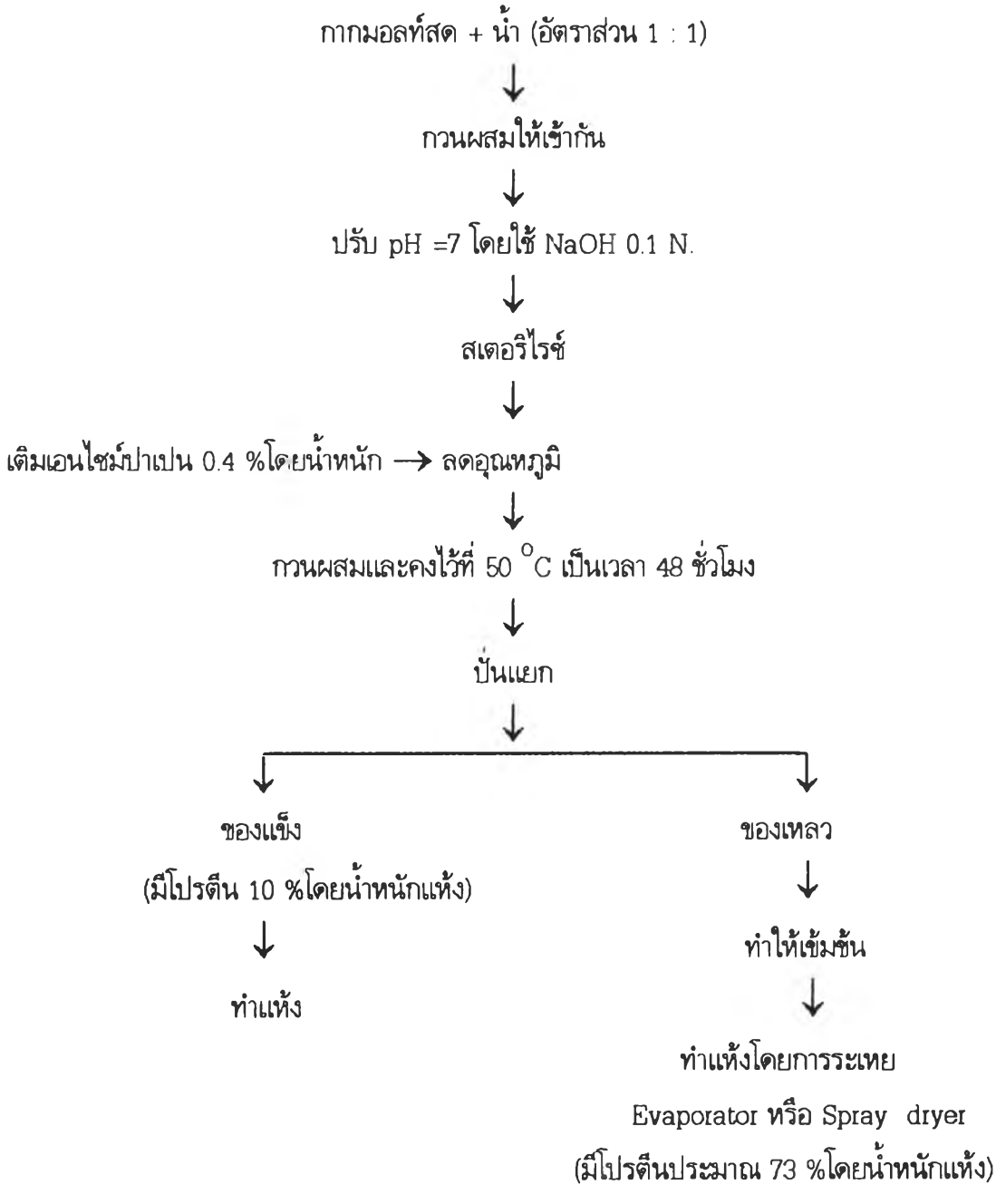
ตารางที่ 2.4 สมบัติต่างๆ ของเอนไซม์ปาเปน และ โบรมิเลน (Ward, 1985; Whitaker, 1972; Godfrey และ Reichelt, 1983)

เอนไซม์	ปาเปน	โบรมิเลน
enzyme commission (E.C.)	3.4.4.10	3.4.4.24
แหล่งที่มา	Carica papaya	Bromiliaceae spp.
pH ที่เหมาะสมในการทำงาน	6-7.5	6-7.5
อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงาน (^{O}C)	55-70	50
ความจำเพาะต่อการตัดพันธะ		
เปปไทด์ระหว่างกรดอะมิโน	กว้าง	อะโรมาติค
สารยับยั้ง	ทั้งสองชนิดถูกยับยั้งด้วยสารออกซิไดซ์ซัลไฟดริลและโลหะหนัก	
สารกระตุ้น	สารรีดิวซ์ สารประกอบไทออล และซิสเตอีน	
พันธะที่ไม่สามารถย่อยได้	โอลิโกเปปไทด์ที่มีเฟนิอะลานิน เป็นกรดอะมิโนตัวที่สองจาก C-terminal	อาร์จินีน-อาร์จินีน ไลซีน-ไทโรซีน

การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซตด้วยเอนไซม์

Vincent และ Bavisotto (1965) ผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซตจากกากมอลท์โดยใช้เอนไซม์ ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังรูปที่ 2.6

วัตถุดิบ : กากมอลท์สดมีของแข็ง 20 %, โปรตีน 27 %โดยน้ำหนักแห้ง



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซตจากกากมอลท์

*เอนไซม์อาจใช้ แพนครีเอติก, ปาเปน, ฟิซิน และ โบรมิเลน โดยใช้เดี่ยวๆ หรือผสมที่ความเข้มข้น 0.05-0.4 %โดยน้ำหนักกากมอลท์สด

สมบัติผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้

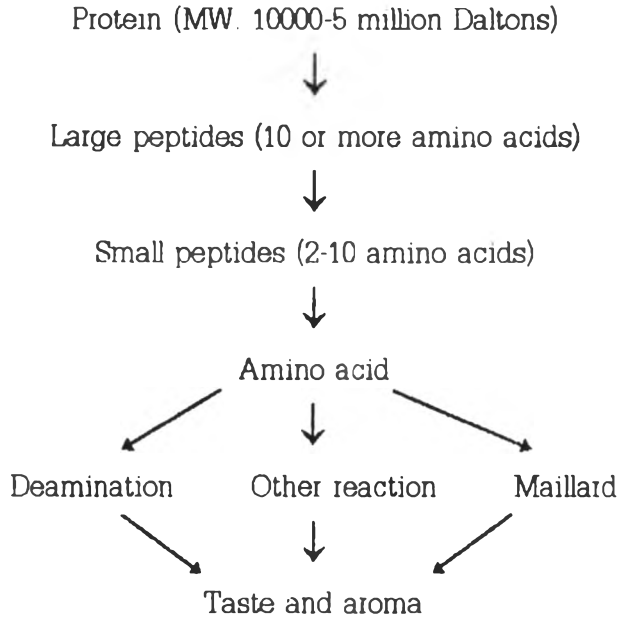
ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้มีสมบัติดังนี้ คือ ละลายน้ำได้ดีมาก มีสีเหลืองอ่อนจนถึงเหลืองอำพันเมื่อทำแห้งโดยใช้ Vacuum dryer จะให้ผลึกแบน แต่ทำแห้งโดยใช้ Spray dryer จะให้ผงลักษณะอสัณฐาน ปราศจากแป้ง ไขมัน และเส้นใย มีกลิ่นและรสชาติเหมือนมอลท์ (malty taste) รสหวานและขมเล็กน้อย องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเซต
(Vincent และ Bavisotto, 1965)

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความชื้น	12.5
โปรตีน	73.8
เส้นใย	น้อยมาก
ไขมัน	น้อยมาก
เถ้า	14.7
คาร์โบไฮเดรต	5.0 (กลูโคส)

กลไกทางเคมีของการเกิดกลิ่นรสจากโปรตีน (Weir, 1986)

กลิ่นรสที่ได้จากโปรตีนส่วนใหญ่ได้มาจากการสลายตัวของโปรตีนซึ่งปกติการสลายตัวด้วยการไฮโดรไลซีสของโปรตีนจะได้เปปไทด์ที่อาจจะขมหรือหวานขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนและลำดับของกรดอะมิโนในโปรตีน และเมื่อการย่อยสมบูรณ์จะได้กรดอะมิโน ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก และจะเป็นตัวทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นๆ เช่นทำปฏิกิริยา Maillard กับคาร์โบไฮเดรต เกิดสารให้กลิ่นรส ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรสของกรดอะมิโนแสดงในตารางที่ 2.6

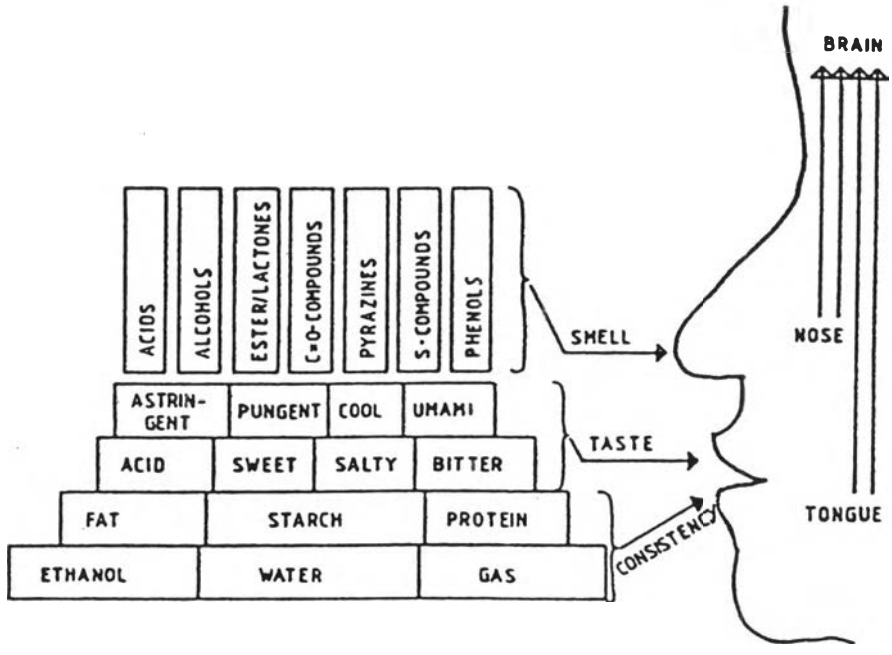


รูปที่ 2.7 การเกิดกลิ่นรสจากโปรตีน

รสชาติ (taste) ส่วนใหญ่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของโมเลกุลที่ไม่ระเหย (non-volatile) กับ receptor sites บนลิ้นหรือ เพดานปาก

กลิ่น (aroma) คือความรู้สึกที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile components) กับ olfactory sites ซึ่งส่วนใหญ่จะผ่านทางจมูก

ดังนั้นจึงพบว่า Flavour = Taste + Aroma (Erikson, 1987) ซึ่งความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แผนภาพส่วนประกอบของกลิ่นรส (flavour) ที่แสดงความสัมพันธ์ของ กลิ่น (smell) รสชาติ (taste) และ consistency (Ney, 1990)

จากรูป 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของกลิ่นรส (flavour) ด้วยระบบแผนภาพซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยโดยแถวบนสุดจะแสดงเกี่ยวกับกลิ่น ประกอบด้วย monocarboxyl acids, alcohols, ester/lactones, carbonyl compounds (aldehydes, ketone and ketoacids) pyrazines, sulfur compounds และสารประกอบพวก phenols จากแผนภาพ 2 แถวต่อมาจะแสดงส่วนของรสชาติ โดยแถวบนจะสัมพันธ์กับประสาทคู่ที่ 5 (carnial nerve) ซึ่งเกี่ยวกับ astringency, pungency และ coolness แถวล่างจะประกอบด้วย acid, sweet, salty, butter และ umami และ 2 แถวสุดท้ายจะแสดง consistency ของทั้งกลิ่นและรส โดยแถวบนคือ fat, starches และ proteins แถวสุดท้ายจะประกอบด้วย ethanol, water และ gases (mainly CO_2) ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบที่พบในอาหารโดยทั่วไป ตัวอย่างซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังนี้ เช่น

- แอปเปิ้ล กลิ่น (smell) จะเป็น ester/lactones รสชาติ (taste) จะเป็น acid และ sweet ส่วน consistency จะสัมพันธ์กับ water
- เนื้อผ่านความร้อน (heated meat) กลิ่นจะเป็น carbonyl compounds, pyrazines และ sulfur compounds รสชาติจะเป็น umami และ salt consistency จะสัมพันธ์กับ fat, proteins และ water (Ney, 1990)

ตารางที่ 2.6 Taste description and threshold values of amino acids (Kato, Rhue และ Nishimura, 1989

Amino acids	Teste	threshold value (mg/dl)
Histidine	Bitter	20
Methionine	Bitter	30
Valine	Bitter	40
Arginine	Bitter	50
Isoleucine	Bitter	90
Phenylalanine	Bitter	90
Tryptophan	Bitter	90
Leucine	Bitter	190
Tyrosine	Bitter	No data
Alanine	Sweet	60
Glycine	Sweet	130
Serine	Sweet	150
Threonine	Sweet	260
Lysine	Sweet and bitter	50
Proline	Sweet and bitter	300
Aspartic Acids	Sour	3
Glutamic Acids	Sour	5
Asparagine	Sour	100

การใช้ประโยชน์ของโปรตีนไฮโดรไลเซต (HVP)

ปัจจุบันได้มีการนำ HVP มาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นสารให้กลิ่นรสที่ดีและมีราคาถูก อีกทั้งยังมีสมบัติที่ดีอีกหลายอย่างเช่น ทนความร้อนสูงโดยที่กลิ่นรสไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงนิยมใช้ในอาหารกระป๋องที่ผ่านความร้อนสูง และมีความคงทนต่อการแช่แข็งและการทำให้ละลาย (Prendergast, 1973) นอกจากนี้ยังมีการใช้ HVP ร่วมกับ BHA (butyl hydroxy - anisole) หรือ BHT (butyl hydroxy - toluene) ซึ่งเป็นการลดปริมาณสารกันหืน

(antioxidant) ในขณะที่ประสิทธิภาพในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่นยังเหมือนเดิม (Bishov และ Henick, 1972) ปริมาณโดยเฉลี่ยที่ใส่ในอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.20-1.30 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร (Olsman, 1979) เช่น ซุปมะเขือเทศหรือซุปผักผสม จะใช้ HVP ประมาณร้อยละ 0.25-0.50 พบว่าจะไม่มีกลิ่นของ HVP แต่ทำให้กลิ่นของมะเขือเทศและผักอื่นๆ เพิ่มขึ้น ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแยม และมามาเลดจะใช้ HVP ประมาณ 20-40 ppm. (Prendergast, 1973)

การใช้ประโยชน์ HVP ในรูปสารให้กลิ่นรส (Prendergast, 1973) ทำให้สามารถแบ่ง HVP เป็น 2 ประเภท คือ

1. สารเสริมกลิ่นรส (Flavour Enhancer Grade)
2. สารให้กลิ่นรส (Flavour Donor Grade)

สารเสริมกลิ่นรส คือ HVP ที่เมื่ออยู่ในรูปสารละลายจะมีสีและกลิ่นอ่อนๆ มีรสชาติน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย แต่จะช่วยเสริมกลิ่นรสที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของอาหาร นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการกลิ่นและสีที่ละเอียดอ่อน เช่น ผลิตภัณฑ์ปลา หมู ไก่ เครื่องดื่ม

สารให้กลิ่นรส คือ HVP ที่มีสีเข้มและกลิ่นรสของเนื้อสัตว์รุนแรง นิยมใช้ในอาหารที่ต้องการให้มีกลิ่นรสของ HVP เป็นพื้นฐาน เช่น ผงเกรวี่ (gravy powder)

<u>เครื่องดื่มเกลือแร่</u> (sport drink or electrolyte drink) (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2535)

เครื่องดื่มเกลือแร่ เป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังขยายวงอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน มีทั้งในรูปของเหลวและรูปผงนิยมดื่มหลังจากการออกกำลังกายหรือร่างกายอ่อนเพลีย หรือกรณีผู้ป่วยมีอาการอ่อนเพลียเนื่องจากอาการท้องร่วงอย่างรุนแรงมีการสูญเสียน้ำมากอาจจะดื่มเครื่องดื่มประเภทนี้ได้

เครื่องดื่มประเภทนี้ประกอบด้วย กลูโคส (glucose) และเกลือแร่ (minerals) ซึ่งกลูโคสเป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการ อัตราการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายเร็วกว่าน้ำ และมีประโยชน์ที่ร่างกายสามารถ metabolite ได้โดยตรง จึงทำให้ร่างกายได้รับพลังงานทดแทนจากส่วนที่สูญเสียไปหลังจากมีกิจกรรมต่างๆ เช่น ออกกำลังกาย ร่างกายอ่อนเพลียเนื่องจากอ่อนเพลียเนื่องจากการสูญเสียน้ำมากเกินไปหรือทำงานหนัก

ปัจจุบันเครื่องดื่มประเภทนี้มีการผลิตอย่างมากมาย ทั้งในรูปที่เป็นผง เมื่อต้องการดื่มก็นำมาละลายน้ำ และในรูปเครื่องดื่มที่เป็นของเหลวผสมพร้อมเสร็จ บรรจุขวด หรือกระป๋อง ซึ่งแต่ละบริษัทมีการใช้สูตรแตกต่างกันไป แต่สูตรหลักที่ใช้จะคล้ายกัน อาจแตกต่างที่กลิ่นและรสชาติ องค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วย โซเดียม โปแตสเซียม คลอไรด์ ซิเตรท และกลูโคส นอกจากนี้

ในบางบริษัทมีการกำหนดสูตรโดยใช้กลิ่น รส และสี ปรุงแต่งเพื่อให้มีการยอมรับมากขึ้น มากกว่าการดื่มเครื่องดื่มที่มีเฉพาะรสชาติของเกลือแร่อย่างเดียวเท่านั้น

สูตรต้นแบบ (Prototype product) ที่ใช้เป็นแนวในการผลิตเครื่องดื่มเกลือแร่โดยทั่วไปมีสูตรดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องดื่มเกลือแร่ต่อน้ำ 1 ลิตร
(Woodroof และ Phillips, 1981)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (กรัม)
เดกโตรส (Dextrose)	38.6
ซูโครส (Sucrose)	10.0
กรดซิตริก (Citric acid, anhydrous)	2.0
โซเดียมซิเตรทไดไฮเดรท (Sodium citrate, dihydrate)	1.0
โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)	0.6
โปแตสเซียมซิเตรท (Potassium citrate)	0.3
แคลเซียมซัคคาริน (Calcium saccharin)	0.2
โซเดียมเบนโซเอท (Sodium benzoate)	0.5
รวมทั้งหมด	54.0
สารให้กลิ่น (Flavouring)	ปริมาณที่เหมาะสม
สี (Colour)	ปริมาณที่เหมาะสม
ไวตามินซี	ปริมาณสามารถที่จะเติมเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการตามมาตรฐาน

อย่างไรก็ตามคุณภาพของเครื่องดื่ม เกลือแร่ในด้านความหวาน ความเค็ม และกลิ่น สามารถเปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่ผู้บริโภคต้องการ ดังนั้นการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสจึงเป็นสิ่งจำเป็น

องค์ประกอบของเครื่องดื่มโดยทั่วไป (ทนง ภัครัชพันธุ์, 2524)

คุณภาพของเครื่องดื่มขึ้นกับชนิดและปริมาณขององค์ประกอบต่อไปนี้

1. น้ำในเครื่องดื่ม

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเครื่องดื่มทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและทำให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนประกอบอื่นๆ ที่เป็นของแข็งละลายได้ จะมีมากกว่า 85 %ของส่วนประกอบทั้งหมด น้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มจะต้องมีคุณสมบัติคือ ไม่มีแบคทีเรียต่างๆ เจือปน ไม่มีสารต่างๆที่มีผลต่อรสชาติและความคงตัวของเครื่องดื่ม และไม่ควรเป็นน้ำกระด้างเพราะคาร์บอเนตจะทำให้รสชาติของเครื่องดื่มที่เป็นกรดมีรสเฝื่อน ดังนั้นน้ำที่ใช้ควรจะควบคุมให้มีคุณภาพคงที่

2. สารให้ความหวาน

น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานและให้รสชาติกับเครื่องดื่มและทำให้เกิดสมดุลย์ของรสชาติอื่นๆ เช่นรสเปรี้ยว เค็ม และขม เป็นต้น นอกจากนี้น้ำตาลยังเป็นสารให้ความหนืด ให้ body แก่เครื่องดื่ม น้ำตาลที่นิยมใช้ในเครื่องดื่มได้แก่ น้ำตาลทราย เป็นน้ำตาลที่ใช้กันมากและแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรม น้ำตาลที่จำหน่ายในปัจจุบันจะเป็นน้ำตาลทรายขาว น้ำตาลทรายแดง ซึ่งระดับสีจะขึ้นอยู่กับปริมาณกากน้ำตาลที่ปะปนมาเมื่อน้ำตาลละลายน้ำจะทำให้คุณสมบัติของสารเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเดือดเพิ่มขึ้น

3. กรด (ศิวาพร ศิวเวชช, 2529; Woodroof และ Phillips, 1981)

จุดประสงค์ในการเติมกรดเพื่อให้รสเปรี้ยว ช่วยระงับความกระหายโดยไปกระตุ้นต่อมน้ำลายในปากให้ขับน้ำลายออกมา ช่วยเพิ่มความหวานของน้ำตาล ช่วยถนอมรักษาเครื่องดื่มทำให้เก็บได้นานขึ้น ปริมาณกรดที่ใช้ในเครื่องดื่มขึ้นกับระดับความชอบของรสชาติ ซึ่งต้องใช้ผู้ชิมที่มีประสบการณ์ เป็นผู้กำหนด กรดที่นิยมใช้ในเครื่องดื่มได้แก่

3.1 กรดซิตริก (citric acid)

กรดซิตริก ($C_6H_8O_7$) เป็นกรดประเภท tricarboxylic นิยมใช้มากกว่ากรดชนิดอื่นๆ และมีคุณสมบัติดีกว่ากรดชนิดอื่นๆ คือ สามารถละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับและเป็น chelating agent ที่มีประสิทธิภาพสูง กรดซิตริดและเกลือของกรดซิตริกนิยมใช้ในน้ำผลไม้และน้ำหวานชนิดต่างๆ ทั้งนี้เพื่อช่วยปรับปรุงกลิ่นรสและความเป็นกรด-ด่างให้พอเหมาะ เป็นวัตถุกันเสีย และจะช่วยทำปฏิกริยากับโลหะที่อาจปนเปื้อนมาในวัตถุดิบเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น กรดชนิดนี้จะช่วยเน้นกลิ่นรสของเครื่องดื่มให้ปรากฏชัดยิ่งขึ้น

3.2 กรดมาลิก (malic acid)

กรดมาลิก ($C_4H_6O_5$) เป็นผงผลึกสีขาวแบบ triclinic ตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปของ levorotary L-malic เป็นกรดที่พบมากเป็นอันดับสอง รองจากกรดซิตริกในผลไม้ประเภทตระกูลส้ม (citrus) นิยมใช้ปรับปรุงกลิ่นรสของเครื่องดื่มประเภทที่ไม่มีแอลกอฮอล์ แยมและเยลลี่ เป็นต้น และเนื่องจากสามารถทำให้กลิ่นรสของอาหารกลมกล่อมขึ้น จึงนิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่มีกลิ่นรสผลไม้ และยังช่วยเน้นกลิ่นรสผลไม้ของเครื่องดื่ม ไม่มีผลต่อสีธรรมชาติของอาหารหรือสีสังเคราะห์ที่เติมลงไปในอาหาร

4. โซเดียมซิเตรท (Sodium citrate) (เทวี โพธิผละ, 2536)

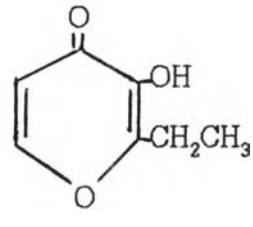
โซเดียมซิเตรท ($C_6H_5Na_3O_7 . 2H_2O$) เป็นผลึกหรือผงสีขาว ละลายได้ดีในน้ำเดือดใช้ปรับความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์อาหารและกันการจับตัวเป็นก้อนของครีม หรือเป็นอีเล็กโตรไลต์ สำหรับเครื่องดื่มเกลือแร่ใช้ในอาหารที่พร้อมบริโภคได้ไม่เกิน 2,000 ppm

5. โปแตสเซียมซิเตรท (Potassium citrate) (เทวี โพธิผละ, 2536)

โปแตสเซียมซิเตรท ($C_6H_5K_3O_7 . H_2O$) เป็นผลึกโปร่งใสหรือผงหยาบขาวละลายน้ำได้ดี เป็นสารพวกแกลือแร่ฟอสเฟตใช้ปรับความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ให้มี pH อยู่ระหว่าง 2.8-3.5 หรือใช้เป็นอีเล็กโตรไลต์สำหรับเครื่องดื่มเกลือแร่ ปริมาณการใช้ต้องอยู่ระหว่าง 80-200 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 100 กิโลแคลลอรี่

6. Vetol plus® (Pfizer,1987; สายสนม ประดิษฐดวง, 2532)

Vetol plus® (Ethyl Maltol : 3-hydroxy-2-ethyl-4-pyrone) ($C_7H_8O_3$) มีลักษณะสูตรโครงสร้างดังนี้



เป็นผลึกผงสีขาวพบในธรรมชาติให้กลิ่นคาราเมล พบในผลไม้ประเภท berry และพบในการกลั่นสารพวกเซลลูโลส สำหรับการสังเคราะห์ maltol ทำได้โดยการไฮโดรไลซ์สาร streptomycin ด้วยด่าง ปกตินิยมใช้เป็น flavour enhancer ของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม เช่น น้ำผลไม้, soft drink, liquors, wine-coolers, milk drink, chocolate products, tomato products นอกจากจะช่วยเพิ่มกลิ่นแล้วยังช่วยเพิ่ม creamy mouth feel และเพิ่มรสหวานโดยพบว่าเมื่อเติม moltol ประมาณ 5-75 ppm จะช่วยเพิ่มความหวานของน้ำตาลซูโครส 15 % จึงนิยมใช้กับเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

คุกกี้ (cookies) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมปังกรอบ, 2530)

ขนมปังกรอบ (biscuit) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ทำจากข้าวสาลีเป็นหลัก กับส่วนประกอบอื่นๆ อาจปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยหรือไม่ก็ได้ มีรูปร่าง ขนาด ชื่อ และวิธีการทำต่างๆกัน ขนมปังกรอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แครกเกอร์
2. คุกกี้

คุกกี้ (cookies) เป็นขนมปังกรอบที่มีรสหวาน โดยทั่วไปทำจากแป้งสาลีที่มีโปรตีนประมาณร้อยละ 8 ถึง 9 ลักษณะของแป้งผสมค่อนข้างอ่อน (soft dough) คุกกี้สามารถแบ่งตามวิธีการผลิตได้ 4 ประเภท (Tanilli, 1976) คือ

1. Deposit cookies ทำจากโดที่เกาะตัวกันน้อยมากโดยใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปกดลงโดยตรงบน oven band
2. Wire-cut cookies ทำจากโดที่ค่อนข้างแข็งอัดผ่านรูเปิดของ(die) ของเครื่อง extruder และตัดโดยใช้ oscillating wire
3. Rotary cookies ทำจากโดที่มีลักณะค่อนข้างร่วน อัดผ่านแบบพิมพ์ที่มีลูกกลิ้ง หลังจากนั้นเอาออกจากพิมพ์แล้วกดลงบน oven belt
4. Cutting cookies นำโดมารีดเป็นแผ่น แล้วตัดให้มีรูปร่างตามต้องการ โดที่ใช้ต้องมี tensile strength และ extensibility ที่เหมาะสมในการรีดเป็นแผ่น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้คุกกี้ประเภทนี้ในการผลิตคุกกี้เติมเส้นใยอาหารเนื่องจากสามารถควบคุมขนาดความกว้างและความหนาของชิ้นคุกกี้ได้

<u>ส่วนผสมที่ใช้ในการทำคุกกี้</u> (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532, Smith, 1972; Matz, 1968)

1. แป้ง

เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตคุกกี้ และมีผลโดยตรงต่อโครงร่างของผลิตภัณฑ์ ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดโครงสร้าง และช่วยอุ้มส่วนผสมอื่นๆ ปกติแป้งที่ใช้ในการทำคุกกี้คือ แป้งสาลีชนิดอ่อน (soft wheat flour) ซึ่งจะมีโปรตีนอยู่ในช่วง 7.0-10.0% เถ้า 0.4-0.5% pH 4.0-6.0 และ spread factor 5.5-9.5 (Tanilli, 1976) แป้งที่เหมาะในการทำคุกกี้ คือ แป้งอเนกประสงค์ ซึ่งมีโปรตีนประมาณ 10-20% จะได้คุกกี้ที่กรอบแข็ง แต่ถ้าต้องการคุกกี้ที่กรอบนุ่มควรใช้แป้งเค้กที่ไม่ผ่านคลอรีน มีโปรตีนประมาณ 7-9% (ตำราทำอาหารอาหารจากแป้งสาลี, 2539)

2. น้ำตาล

น้ำตาลมีหน้าที่ช่วยเพิ่มรสชาติ โดยเป็นสารให้ความหวาน ช่วยควบคุมความกรอบ (crispness) และลักษณะผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการแผ่ขยายตัวของคุกกี้ด้วย โดยน้ำตาลเม็ดจะให้การแผ่ขยายตัวดีกว่าน้ำตาลบดละเอียด เพราะเมื่อนำเข้าอบน้ำตาลจะละลายตัวและมีแรงดันที่ทำให้คุกกี้ขยายตัวได้ดี แต่ถ้าเม็ดหยาบเกินไปการแผ่ขยายตัวก็ไม่ดีน้ำตาลโดยมากใช้น้ำตาลทรายเม็ดละเอียดเพราะละลายได้ง่าย และช่วยทำให้เนื้อขนมแผ่ตัวดีหากน้ำตาลเม็ดหยาบจะต้องใช้เวลาตีนานกว่าน้ำตาลทรายเม็ดละเอียด ถ้าละลายไม่หมดเนื้อขนมจะไม่ขยายตัวและเป็นจุดขาวๆ บนหน้าขนมเมื่อสุกแล้ว ส่วนน้ำตาลไอซิ่งทำให้เนื้อขนมไม่ค่อยแผ่ตัว และเวลาตีกับเนยจะจับอากาศได้น้อยนอกจากนี้ในน้ำตาลไอซิ่งยังมีแป้งข้าวโพดอยู่ด้วย ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มแป้งในสูตรมีผลให้เนื้อขนมที่ได้ค่อนข้างแน่น

3. เนย (shortening)

ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความร่วน ชุ่ม และนุ่ม โดยทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่น และป้องกันไม่ให้เกิด develop ของกลูเตนมากเกินไปในช่วงการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มปริมาตรโดยสามารถกักเก็บอากาศเมื่อถูกตีแรงๆ ระหว่างการผสมไขมัน ไขมันที่ใช้ทั่วไปมี 3 ประเภท เนยสด เนยขาว หรือมาการีนหรือใช้ผสมกัน

4. ไข่

ช่วยให้เกิดโครงสร้าง ปรับปรุงสี กลิ่นรส และช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร โดยไข่ขาวจะให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และเมื่อตีขึ้นฟูจะสามารถกักเก็บอากาศได้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้โปร่งฟู ส่วนไข่แดงจะให้สีกลิ่นรส และความนุ่มจากไขมันในไข่แดง

5. นม

ช่วยปรับปรุงสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ และช่วยควบคุมการแผ่ขยายตัวของคุกกี้

6. สารที่ทำให้เกิดการขึ้นฟู (leavening agent)

ทำหน้าที่ควบคุมการแผ่ขยายตัวของคุกกี้ ให้มีปริมาตรและการฟูเพิ่มขึ้น ที่นิยมใช้ได้แก่

- เบกกิ้งโซดา หรือโซเดียมคาร์บอเนต

เป็นสารเคมีที่เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซนี้จะไปดันโครงร่างของผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ฟูขึ้น แต่ข้อเสียคือถ้าใช้ในปริมาณมากจะตกค้างทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเฝื่อน

- ผงฟู

เป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิดรวมกัน ประกอบด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต ประมาณ 30 % รวมกับเกลือของกรด เช่น โพแทสเซียมไบทาร์เทรต และ สตาร์ชข้าวโพดเพื่อไม่ให้ผงฟูเกาะกันเป็นก้อน ผงฟูมี 2 แบบ คือ แบบเกิดปฏิกิริยาเร็วหรือเกิดปฏิกิริยาครั้งเดียว จะเกิดก๊าซอย่างรวดเร็วในขณะผสมดังนั้นถ้าทิ้งไว้นานก๊าซจะสูญเสียออกไปเมื่อนำไปอบจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นฟูไม่ดีนัก ส่วนผงฟูแบบที่ 2 คือ แบบเกิดปฏิกิริยาช้า หรือเกิดปฏิกิริยาสองครั้ง ครั้งแรกในขณะผสมและอีกครั้งในขณะอบ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นฟูดีกว่าและนิยมใช้มากกว่า

- แอมโมเนีย

จะใช้ในรูปแอมโมเนียมคาร์บอเนต หรือแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต โดยเมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวให้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไอน้ำ ซึ่งจะระเหยออกไปไม่เหลือตกค้างในผลิตภัณฑ์แต่จะมีการใช้ค่อนข้างจำกัดเนื่องจากอาจมีกลิ่นแอมโมเนียตกค้างทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นไม่ดี

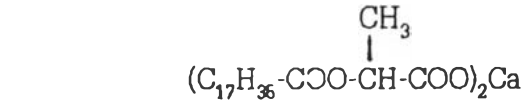
7. อิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier)

เป็น surface-active agent ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมัน ช่วยให้อิมัลชันคงตัว ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างสตาร์ชและโปรตีน และช่วยไม่ให้เกิดการตกผลึกของไขมันในผลิตภัณฑ์ (Kissell และ Prentice, 1979) ช่วยปรับปรุงความกรอบ (crispness) และ overall quality ให้ดีขึ้น emulsifier ที่นิยมใช้ในคุกกี้ ได้แก่ lecithin, calcium stearoyl lactylate(CSL), sodium stearoyl lactylate (SSL)

Calcium stearoyl lactylate (CSL) (Specification for identity and purity of food additive, 1984)

chemical name : Calcium di-(2-stearoyloxy)-propionate

Structural formula



$$(C_{17}H_{35}\text{-}COO\text{-}CH(CH_3)\text{-}COO)_2Ca$$

CSL เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเกลือแคลเซียม โดยการรวมตัวของกรดไขมันกับกรดแลกติกที่ประกอบไปด้วย เกลือของกรดไขมัน เกลือของกรดเอสเทอร์ของกรดแลกติก และเกลือของกรดเอสเทอร์ของอนุพันธ์กรดแลกติกโดยมีสารตั้งต้นเป็นเกลือแคลเซียมของ stearic acid ester of lactic acid

sodium stearoyl lactylate (SSL) (Specification for identity and purity of food additive, 1984)

chemical name : Sodium 2-stearoyloxypropionate

Structural formula

$C_{17}H_{35}$-COO-CH-COO-Na

SSL เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเกลือโซเดียม โดยการรวมตัวของกรดไขมันกับกรดแลกติกที่ประกอบไปด้วย เกลือของกรดไขมัน เกลือของกรดเอสเทอร์ของกรดแลกติก และเกลือของกรดเอสเทอร์ของอนุพันธ์กรดแลกติกโดยมีสารตั้งต้นเป็นเกลือโซเดียมของ stearic acid ester of lactic acid

CSL และ SSL เหมาะที่จะใช้กับคุกกี้ที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลัก ถึงแม้การใช้เพ็กโต-3® (50%CSL + 50%SSL) ในการทำคุกกี้จะเป็นสิ่งใหม่ในประเทศไทย แต่ก็เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าเพกโต-3® ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เพราะจะทำให้ส่วนของไขมันทำงานได้ดีขึ้นและมีคุณภาพดีด้วย สำหรับปริมาณที่ใช้ในคุกกี้จะใช้ 0.1-0.5%ของน้ำหนักแป้ง โดยเติมลงไปตีพร้อมกับส่วนผสม (ตำราทำอาหารจากแป้งสาลี, 2539)

ขั้นตอนการผลิตคุกกี้ (อรอนงค์ นัยวิกุล 2532; Whiteley, 1970)
ขั้นตอนทั่วไปในการผลิตคุกกี้โดยทั่วไปมีดังนี้

1. การผสม มี 2 วิธี

1.1 Creaming method เป็นวิธีที่นิยมใช้มาก โดยตีเนยหรือไขมันกับน้ำตาลให้เข้ากันจนส่วนผสมฟูตัวและเรียบเนียนแล้วจึงเติมส่วนที่เหลือทั้งหมดรวมทั้งแป้งผสมให้เข้ากันจนเป็นโดแล้วนำไปขึ้นรูปตามต้องการ

1.2 All-in method ผสมส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นสารที่ทำให้ขึ้นฟู เกลือ ต้องละลายน้ำบางส่วน ผสมจนเรียบเนียน วิธีนี้จะได้โดที่มีลักษณะแน่น และเหนียวกว่าวิธีแรก

เนื่องจากวิธี Creaming จะให้โดทีแน่นและเหนียวน้อยกว่าดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธี Creaming

2. การอบ

อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 350-400 ^{o}F ความร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

2.1 ระยะแรกของการอบ

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ไขมัน น้ำตาล สารเคมีอื่นๆ จะเริ่มละลายตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์นิ่มและเหลว มีก๊าซเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของสารเคมีประเภทผงฟู เมื่อได้รับความร้อนก็จะขยายตัวดันโครงร่างของผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น

2.2 ระยะกลางของการอบ

ความร้อนในระยะนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนใกล้ถึงจุดเดือดของน้ำ (100 ^{o}C) ทำให้โปรตีนจับกันเป็นโครงร่าง กลายเป็นโครงร่างที่แข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ส่วนน้ำที่เหลือจะระเหยกลายเป็น
ไอดันขนมให้มีปริมาตรมากขึ้น

2.3 ระยะสุดท้ายของการอบ

ผลิตภัณฑ์มีความร้อนเพิ่มมากขึ้น ลักษณะโครงร่างจะคงที่ เนื่องจากโปรตีนและสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพโดยสมบูรณ์ แต่ยังมีความยืดหยุ่นจากไขมันอยู่บ้าง เกิดสีน้ำตาลที่บริเวณผิวนอกเนื่องจาก caramelization ของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อน

เส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารคือ ส่วนของพืชผักและผลไม้ที่รับประทานได้ แต่ไม่ถูกย่อยด้วยน้ำย่อยในระบบการย่อยอาหาร เส้นใยอาหารประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพกติน กัม (Spiller, Ahipley, และ Blake, 1978) ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายคือ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดท้องผูก และลดอาการเป็นโรคที่มีผลสืบเนื่องมาจากท้องผูกซึ่งได้แก่ โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคริดสีดวง เส้นเลือดขอด โรคไขมันสูงในเส้นเลือด โรคเบาหวาน (เกียรติรัตน์ ณารัตนพฤกษ์, 2527) แต่การรับประทานอาหารที่มีเส้นใยอาหารมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียได้คือเส้นใยอาหารอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ของแร่ธาตุในร่างกายเนื่องจากมีไฟติกแอซิด (Phytic acid) อยู่มากซึ่งจะรวมอยู่กับเส้นใยอาหารของเมล็ดธัญญพืชโดยอยู่ในรูปที่ไม่ละลายเมื่อบริโภคจะไปจับกับแร่ธาตุในร่างกายแล้วเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไฟเตดทำให้ร่างกายสูญเสียแร่ธาตุ (Reinhold และคณะ, 1976) แต่ในกากมอลท์ที่แยกโปรตีนออกไปแล้วพบว่า ประกอบด้วยเส้นใยอาหารประมาณ 67 %โดยน้ำหนักแห้ง และพบว่ามีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน มากกว่าในรำข้าวสาลีและมีไฟติกแอซิดอยู่น้อยมากดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปริมาณเส้นใยอาหาร เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ไฟติกเอซิดของกากมอลท์ รำข้าวสาลี และแหล่งเส้นใยอาหารอื่นๆ (Chaudhay, 1982)

แหล่งเส้นใยอาหาร	ปริมาณ (ต่อน้ำหนักแห้ง)				
	เส้นใยอาหาร	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	ไฟติกแอซิด
กากมอลท์	53.5	16.5	13.5	3.4	0.048
กากมอลท์แยกโปรตีน	67.0	20.0	41.5	5.3	0.060
รำข้าวสาลี	36.0	6.5	27.3	1.9	1.500
รำข้าวโพด	79.0	17.2	60.5	1.1	0.500
รำถั่วเหลือง	63.9	39.1	20.6	3.9	0.100
รำข้าว	28.3	6.5	18.0	3.5	6.900

การใช้เส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

Tsen, Eyestone และ Weber (1982) ทดลองใช้เส้นใยอาหารจากกากมอลท์ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง คุกกี้ บราวนี่ พบว่า ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ปริมาตร สี และคุณสมบัติทั้งหมดเป็นที่ยอมรับเมื่อใช้เส้นใยอาหารจากกากมอลท์ที่ระดับ 15 % เป็นอย่างน้อย (ต่อน้ำหนักแป้ง)

Kissell และ Prentice (1979) ทดลองใช้เส้นใยอาหารจากกากมอลท์ในคุกกี้ โดยนำกากมอลท์มาให้ความร้อนที่ 45, 100 และ 150 ^{o}C เป็นเวลา 24, 16, 1.5 ชั่วโมงตามลำดับ แล้วนำมาบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 32-200 mesh การร่อนนี้จะมีผลต่อปริมาณของเส้นใยอาหาร และขนาดของเส้นใยอาหาร ซึ่งรวมไปถึงจำนวนที่ใช้เติมลงไปในผลิตภัณฑ์ และเมื่อทดลองใช้ในคุกกี้จากระดับ 10-40 % ของน้ำหนักแป้ง พบว่ากากมอลท์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 45 ^{o}C จะให้เส้นใยอาหารมากกว่าและให้กลิ่นรสที่ดีได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ และพบว่าการใช้เลซิตินปริมาณ 1-2 % ของแป้งในการผลิตคุกกี้เสริมเส้นใยอาหารจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ และเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์

การวัดการขยายตัวของคุกกี้ (cookies spread)

ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพแป้งประยุกต์อเนกประสงค์ โดยใช้สูตรพื้นฐานตามวิธี AACC (1976) ที่มีส่วนผสมคือ เนยขาว น้ำตาล เกลือ โซเดียมไบคาร์บอเนต น้ำ และแป้ง ผสมให้เข้ากันจนเป็นโด นำมารีดให้ได้ความหนาตามมาตรฐาน ตัดให้เป็นแผ่นกลมด้วยเครื่องตัด เข้าอบในตู้อบ

อุณหภูมิ 400 ^{o}F เวลา 10 นาที นำออกจากเตาทิ้งให้เย็น วัดความกว้าง (W)และความหนา (T) หา สัดส่วน W/T (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) การควบคุมการแผ่ขยายตัวของคุกกี้มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์คุกกี้มากในกรณีของการทำ cream sandwich cookies ซึ่งต้องใช้คุกกี้ 2 ชิ้นมาประกบกันดังนั้นควรมีขนาดเท่ากัน (Matz และ Matz, 1978) นอกจากนี้ความไม่สม่ำเสมอในการขยายตัวจะก็ให้เกิดปัญหาในการบรรจุหีบห่อ คือถ้ามีการขยายตัวมากจะทำให้ไม่สามารถบรรจุในภาชนะบรรจุได้หรือถ้าแผ่ขยายน้อยเกินไปทำให้ภาชนะบรรจุหย่อนไม่ตึงน้ำหนักเกินสำหรับการบรรจุ ซึ่งสร้างความเสียหายให้แก่สายงานการบรรจุและก่อให้เกิด waste จำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาผลของขนาดและปริมาณเส้นใยอาหารที่เติมลงไปในผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อค่าการขยายตัวของคุกกี้

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คุกกี้ (Smith, 1972)

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์คุกกี้ลดลง คือ ความชื้น และการเหม็นหืนของไขมัน ดังนั้นภาชนะที่ใช้ในการบรรจุควรมีสมบัติในการป้องกันความชื้น และการซึมผ่านของออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน รวมทั้งสามารถป้องกันแสง หรือรังสี ultraviolet ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ซีดลง และเกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี

โดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์จะมีอายุการเก็บไม่เกิน 90 วัน ในช่วงเวลานี้ผลิตภัณฑ์จะยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่โดยทั่วไปผู้ผลิตต้องการให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในตลาดไม่เกิน 60 วัน เพื่อให้ผู้บริโภคได้บริโภคผลิตภัณฑ์ที่ใหม่อยู่เสมอ

ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุนอกจากจะช่วยในเรื่องการบรรจุ การขนส่ง และการจำหน่ายแล้ว หน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์จากสิ่งแวดล้อมภายนอก คุณสมบัติดังกล่าวนี้จะแตกต่างไปตามชนิดของภาชนะบรรจุที่ใช้ ภาชนะบรรจุโดยทั่วไปที่ใช้ในการบรรจุคุกกี้ อาจจะประกอบด้วยถุงกระดาษที่มีแผ่นฟิล์มเคลือบด้านนอกและปิดผนึกให้แน่น ภาชนะบรรจุบางชนิดอาจเป็นpolystyrene ที่ขึ้นรูปเป็นลักษณะถาดและใช้ cellophane ปิดหุ้มโดยรอบ ภาชนะอื่นๆ อาจเป็นกระป๋อง (tin boxes) กล่องกระดาษเจาะรู เพื่อให้มองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในที่มีฟิล์มหุ้มอยู่ (window-paperboard boxes, direct film overwraps)

วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุสำหรับคุกกี้ได้แก่ ฟิล์มโพลีโพรพิลีนเคลือบด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ (coated oriented polypropylene aluminium foil laminates) โพลีสไตรีน (polystyrenes)

I17170035

โพลีเอทธิลีน (polyethylene) เป็นฟิล์มที่มีราคาถูก มีความเหนียวและใสปานกลาง (Stanley และ Roger, 1970)

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ทดลองศึกษาหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์คุกกี้เติมเส้นใยอาหารที่ผลิตได้ โดยเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่นิยมใช้ตามท้องตลาด ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นและกันการซึมผ่านของอากาศแตกต่างกัน 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.9 ภายในระยะเวลา 2 เดือน

ตารางที่ 2.9 สมบัติของภาชนะบรรจุที่ใช้ในงานวิจัย

(ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สมบัติของภาชนะบรรจุที่ 38 ^{o}C	ชนิดของภาชนะบรรจุ		
	ถุงพลาสติก PE	ถุง Metallized	ถุง Aluminium
อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (gm/m^2/day)	0.5	0.3	0.3
อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (ml/m^2/day)	500	3.2	-